

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ 7AVE И ДВИГАТЕЛЕЙ С АКТИВНЫМИ ЧАСТЯМИ ПО ЕВРОПЕЙСКОЙ УВЯЗКЕ

Анастасия Беляева¹, Андрей Кобелев²

¹ ПАО «НИПТИЭМ», г.Владимир, Россия, missis.belyaevanastya@yandex.ru

² ПАО «НИПТИЭМ», г.Владимир, Россия, a.kobelev@ruselprom.ru

Аннотация – Выполнен анализ эффективности использования асинхронных двигателей с сердечниками, характерными для увязки CENELEC, в увязке ГОСТ. Рассматриваются показательные габариты 132, 180 и 315 мм. Геометрия CENELEC–сердечников взята из каталога EURO GROUP. В качестве конкурентоспособных решений взяты соответствующие типоразмеры серии 7AVE. Определяющими показателями для анализа выбраны энергоэффективность, себестоимость и масса активных частей.

Ключевые слова – асинхронные машины, единые серии, проектирование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Перед электромашиностроительным предприятием периодически возникает вопрос об освоении новой номенклатуры электрических машин, что сопряжено с задачей подготовки производства, связанной как с изготовлением новой штамповой оснастки для активных частей, так и подготовки производства корпусных деталей, оснастка на которые весьма дорогостояща. Стоимость оборудования и оснастки корпусных элементов критически зависит от выбора главных размеров электрической машины.

Независимо от качественного и количественного состава проектных подразделений электротехнического предприятия, при обсуждении концепта нового изделия резонно возникает вопрос о применении апробированных решений по активной геометрии, попросту говоря, о возможности воспользоваться уже готовыми «жестями». Листы магнитопроводов могут быть взяты либо из собственных наработок фирмы, либо заимствованы из доступных источников информации. Известно, что последним, полномасштабно открытым сборником по активной геометрии асинхронных двигателей является справочник по асинхронным двигателям серии 4A [1].

Об активной геометрии АИР отдельную информацию можно почерпнуть из [2] и ремонтной литературы. О Ярославской серии А, RA, выпускаемой на заводе ELDIN – из [3]. Однако, источники [2, 3], в силу конфиденциальности информации, не представляют конфигурации собственно зубцово-пазовых зон.

Тем интересней узнать специалистам, что уже несколько лет, по меньшей мере, две крупные фирмы, Kienle + Spiess Group [4] и EURO GROUP [5], производящие, в том числе, сердечники электрических

машин, полностью «раскрыли» свою геометрию и предлагают клиентам воспользоваться ею в своих разработках.

Такой подход упомянутых компаний вполне объясним. Во-первых, торговать сердечниками электрических машин это «просто бизнес», и бизнес успешный, поскольку данные предприятия динамично развиваются. С другой стороны, любое промышленное предприятие, приобретая на законных основаниях электродвигатель любой компании, вправе его разобрать и выяснить главные размеры и соотношения чисел пазов, никак не покушаясь на конфиденциальность информации. Более того электроремонтные предприятия просто обязаны делать тщательный обмер зубцово-пазовых зон для качественного решения ремонтной задачи – определения обмоточных данных сгоревшего мотора.

Поэтому активная геометрия любой фирмы, серийно выпускающей двигатели, в определенной мере является «секретом Полишинеля», и эта мера определяется усердием ремонтных производств и маркетологов. Однако, одно дело – урывочные сведения, и совсем другое – системно изложенная информация. Автор настоящего доклада, как со-разработчик активных частей серии 7AVE [6], полагает, что у читателя вызовут интерес результаты сопоставления:

а) электромеханических характеристик типоразмеров 7AVEC (увязка CENELEC) с характеристиками, полученными на «Еврожелезе», поскольку увязка CENELEC для фирм [4, 5], ориентированных на Европейский рынок, является основной, и мы вправе ожидать от решений на этом раскрое превосходных результатов для двигателей увязки CENELEC;

б) электромеханических характеристик типоразмеров 7AVER, увязка ГОСТ 31606-2012 (вариант I) с характеристиками, полученными на «Еврожелезе», поскольку последнее имеет меньшие заготовительные диаметры, см. раздел III, и мы вправе ожидать у электродвигателей с сердечниками [4, 5] экономичных решений для класса энергоэффективности IE1. В докладе Российская увязка ГОСТ 31606-2012 (вариант I) называется также увязкой СЭВ, что соответствует исторической традиции в электромеханике.

II. ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЙ В ДОКЛАДЕ

Выборочный анализ геометрии магнитопроводов [4] и [5] показывает, что они весьма близки. Поэтому ограничимся сопоставительным анализом с фирмой [5], тем более, что ее решения простираются вплоть до габарита 355 мм, в то время как [4] ограничивается габаритом 280 мм. В рассмотрение возьмем наиболее востребованные на рынке двигатели с числом полюсов $2p=2$ и $2p=4$. Анализ проведем для трех показательных габаритов: 132, 180, 315.

Габарит 132 интересен по следующей причине:

Известно, что объем активных частей определяется не мощностью машины, а развиваемым моментом, КПД и отводимыми потерями. Для общепромышленных машин момент в этой триаде является определяющим. В уязке ГОСТ 31606-2012 (вариант I) габарит 132 является первым по восходящей шкале, в котором мощность при $2p=2$ равна мощности $2p=4$ на второй длине (М), конкретно $P_n=11$ кВт, т.е. момент на $2p=4$ в 2 раза больше, чем на $2p=2$. Для сравнения в габарите 112 при $2p=2$ $P_n=7,5$ кВт, а при $2p=4$ $P_n=5,5$ кВт, т.е. момент лишь в 1,5 больше. Таким образом, априори разработчик вправе ожидать трудностей при проектировании четырехполюсных машин габарита 132 уязки СЭВ в ограниченном объеме. Тем более интересно, какие показатели можно достичь на машинах повышенной мощности (по отношению к CENELEC), используя Евро-раскрой с малыми внешними диаметрами.

Габарит 180 выбран потому, что при уязке СЭВ для двигателя АИР, $2p=2$ наблюдается провал значения постоянной Арнольда Ca , характеризующей объем материалов на единицу энергии. Весьма низко значение Ca и в АИР180-4, в силу уменьшения внешнего диаметра D_{as} с 313 мм (4А) до 295 мм [6]. Этот факт сделал проблематичным обеспечение высоких классов энергоэффективности в габарите 180 для уязки СЭВ на $D_{as}=295$ мм. Как себя поведут машины повышенной мощности (по отношению к CENELEC) в габарите 180, на сердечниках [5] покажет нижеизложенный анализ.

Габарит 315 участвует в анализе по следующей причине:

Этот габарит является первым по восходящей шкале, для которого мощности CENELEC достигают мощностей СЭВ: помимо младших мощностей 110 и 132 кВт, характерных для габарита 280, $2p=2,4$ уязки ГОСТ 31606-2012 (вариант I), в CENELEC габарита 315 присутствуют мощности 160, 200 кВт [7], характерные для габарита 315 уязки СЭВ. Интересно сопоставить гармонизацию СЭВ и CENELEC для $P_n=110, 132, 160, 200$ кВт.

III. АНАЛИЗ СВОДНОЙ ТАБЛИЦЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для двигателей АИРМ, 7AVE, ВАЕ нашей разработки представлен расчетно-экспериментальный анализ. Для двигателей с условным названием EUC, синтезированных нами по геометрии [5], – расчетный анализ. Расчеты выполнены на авторском программном

обеспечении, с 2002 г. успешно применяемом в повседневном проектировании асинхронных электродвигателей [8]. Себестоимость активных частей *Саст* указана в относительных единицах. 1 о.е. равна цене медного провода в национальной валюте в день анализа.

Анализ габарита 132.

Для $2p=2$ наименьшей мощности 5,5 кВт наши решения начинаются с класса энергоэффективности IE2. Вариант на старшем диаметре 7AVEC132SA2ie2 получается несколько дороже и тяжелее. Двигатели ВАЕ, спроектированные, подобно EUC на $D_{as}=200$ мм, легче последних. На мощности 7,5 кВт, преимущество Евро-раскроя по отношению к диаметрам СЭВ в плане меньшей массы активных частей нивелируется, но для мощности 11 кВт вновь восстанавливается. Поэтому можно констатировать, что для $2p=2$ в отрезке мощностей 5,5; 7,5; 11 кВт наиболее эффективным внешним диаметром является $D_{as} \approx 200$ мм. Однако, в виду малого электромагнитного момента, двигатель $2p=2$ не является типичным представителем серии; решение о заготовительном диаметре габарита серии по оптимально спроектированным двухполюсным машинам не принимается. Наиболее востребованными являются четырехполюсные машины; их моменты близки к моментам для $2p=6, 8$ (в виду снижения мощности последних в шкалах серий). Именно двигатели $2p=4$ являются опорными при определении заготовительного диаметра габарита. Для $2p=4$ преимущества диаметра $D_{as} = 225$ мм уязки СЭВ являются очевидными, особенно для $P=11$ кВт, IE2. У двигателей $2p=6, 8$ преимущество «большого» D_{as} усиливается (в таблице не показано).

Анализ габарита 180.

В таблице представлены двигатели класса энергоэффективности IE2. Для типоразмеров $2p=2$, $P_n=22$ кВт наше CENELEC-решение – 7AVEC180M2ie2, превосходит показатели двигателя EUC180M2ie2 по массе, но имеет меньший сервис-фактор. Решение уязки СЭВ – 7AVER180S2ie2, уступает двигателю EUC180M2ie2. Типоразмеры EUC и 7AVER, $2p=2$, $P_n=30$ кВт близки по всем показателям. Для $2p=4$, $P_n=18,5$ кВт решения EUC180M4ie2 и 7AVER160M4ie2 близки. То же справедливо для $2p=4$, $P_n=22$ кВт EUC180L4ie2, 7AVEC180L4ie2. Типоразмер 7AVER180S4ie2 – более габаритный, но имеет и больший сервис-фактор (меньшее превышение температуры обмотки статора). Идентичность показателей наблюдается и при сопоставлении соответствующих типоразмеров мощности $2p=4$, $P_n=30$ кВт. Здесь особого внимания заслуживает трудно реализуемый типоразмер класса энергоэффективности IE2. Преимуществом, как по энергетике, так и по стоимостным и массогабаритным показателям обладает вариант 8AVER180M4ie2 с предельно достижимым внешним диаметром на габарите 180, а именно $D_{as}=313$ мм. Ранее мы уже делали этот вывод для средних габаритов [9], теперь мы его подтвердили на детальном сопоставительном анализе возможностей раскроя [5] и 7AVE.

Таблица 1

Сводная таблица электромеханических характеристик исследуемых двигателей.

Типоразмер	P_n , кВт	L_s , мм	D_{as} , мм	КПД, %	$\cos\phi$	I_n , А	K_{max}	K_n	K_i	M_n , Нм	J , кг*м ²	Θ_{cu} , °С	M_{fe} , кг	M_{cu} , кг	Mal , кг	$Mact$, кг	$Cact$, О.е.
EUC132SA2ie1	5,5	90	200	84,8	0,92	10,7	3,0	2,4	6,6	18,1	0,0102	62,62	15,6	4,8	1,1	21,5	8,5
EUC132SA2ie2	5,5	110	200	87,1	0,93	10,3	3,2	2,6	7,1	18,1	0,0122	49,7	19,0	5,3	1,2	25,6	9,7
BAEC132SA2ie2	5,5	90	200	87,1	0,91	10,6	3,3	2,2	7,0	18,3	0,0088	73,61	14,6	5,8	1,0	21,4	9,6
7AVEC132SA2ie2	5,5	80	225	87	0,88	10,9	3,9	2,4	8,4	18,0	0,0162	61,24	17,3	6,2	1,5	24,9	10,5
EUC132SB2ie1	7,5	120	200	86,7	0,93	14,1	3,1	2,6	7,0	24,7	0,0132	64,35	20,8	5,3	1,3	27,4	10,1
BAE112M2ie1	7,5	105	200	87	0,91	14,4	3,3	2,2	6,9	25,0	0,0102	84,28	17,2	6,4	1,1	24,7	10,8
7AVEC132SB2ie1	7,5	90	225	87	0,90	14,5	3,3	2,1	7,5	24,6	0,018	85,51	19,4	6,0	1,6	27,0	10,7
EUC132M2ie1	11	140	200	88	0,92	11,3	3,3	2,9	7,3	36,2	0,0151	80,98	24,2	6,1	1,4	31,8	11,7
EUC132M2ie2	11	160	200	89,4	0,93	11,1	3,5	3,1	8,0	36,1	0,0172	75,82	27,7	6,0	1,5	35,2	12,1
AHPM132M2	11	130	225	89,3	0,91	11,3	3,4	2,1	7,7	36,0	0,025	80,69	27,5	7,3	2,0	36,7	13,9
7AVER132M2ie1	11	115	225	88	0,90	11,6	3,6	2,4	8,0	36,0	0,022	98,53	24,8	6,5	1,8	33,1	12,31
7AVER132M2ie2	11	130	225	89,6	0,91	11,3	3,6	2,4	8,2	36,0	0,025	86,22	27,7	7,3	1,9	37,0	15,0
EUC132S4ie1	5,5	125	200	85,4	0,87	11,2	2,7	2,4	5,5	37,0	0,022	67,26	21,9	4,0	1,2	27,1	8,68
BAEC132S4ie1	5,5	110	200	84,8	0,87	11,3	2,8	2,5	6,4	36,9	0,0169	81,72	18,5	4,4	1,0	23,9	8,63
7AVEC132S4ie1	5,5	90	225	85	0,85	11,6	3,3	2,3	7,0	36,3	0,0252	72,96	20,8	4,0	1,1	25,9	8,31
EUC132M4ie1	7,5	170	200	86,5	0,86	15,3	2,7	2,5	5,8	49,9	0,0289	74,78	29,4	4,3	1,4	35,2	11,6
EUC132M4ie2	7,5	190	200	88,8	0,83	15,4	3,6	2,3	7,3	49,4	0,0321	53,49	32,9	5,1	1,5	39,6	13,4
AHPM132S4	7,5	115	225	87,9	0,86	15,0	3,0	1,9	6,4	49,4	0,03	71,22	24,4	6,3	1,6	32,3	12,1
7AVER132S4ie1	7,5	115	225	86,8	0,86	15,2	3,5	2,5	7,4	49,5	0,0317	73,94	26,6	4,9	1,2	32,7	10,3
7AVER132S4ie2	7,5	140	225	88,8	0,89	14,5	3,6	2,5	7,6	49,4	0,0382	61,04	32,4	5,8	1,4	39,6	12,4
EUC132MB4ie1	11	210	200	87,6	0,84	22,7	3,3	3,2	6,6	73,0	0,0358	76,26	36,9	5,2	1,7	43,7	12,8
EUC132MB4ie2	11	270	200	90	0,72	25,9	4,7	4,6	8,1	72,1	0,0451	66,56	46,8	6,5	1,0	55,3	18,0
AHPM132M4	11	160	225	88,9	0,87	21,7	3,2	2,1	6,8	72,3	0,041	80,03	34,0	6,9	2,0	42,9	14,5
7AVER132M4ie1	11	160	225	87,7	0,89	21,5	3,5	2,6	7,3	72,9	0,0435	85,82	37,0	5,8	1,5	44,3	13,1
7AVER132M4ie2	11	200	225	89,9	0,89	21,0	4,1	3,0	8,6	72,3	0,0539	66,65	46,3	6,6	1,7	54,6	15,7
EUC180M2ie2	22	200	270	92,1	0,95	38,1	3,0	2,6	7,5	71,5	0,0909	61,43	62,0	14,1	4,0	80,1	28,3
7AVEC180M2ie2	22	165	260	91,3	0,91	40,0	3,1	2,5	7,2	72,1	0,0472	89,28	50,5	12,1	2,5	65,2	23,0
7AVER180S2ie2	22	175	295	91,3	0,89	40,3	3,2	2,5	7,6	71,1	0,103	51,3	68,7	16,3	3,8	88,8	31,2
EUC180L2ie2	30	240	270	92	0,95	52,1	3,2	2,8	7,9	97,3	0,1077	64,48	74,4	18,4	4,5	97,3	35,6
7AVER180M2ie2	30	210	295	92,2	0,91	54,4	3,0	2,4	7,0	97,1	0,122	73,52	82,4	17,5	4,2	104,1	35,0
EUC180M4ie2	18,5	215	270	92	0,83	36,8	2,5	2,8	6,9	120,1	0,129	59,95	70,2	10,1	3,5	83,8	24,4
7AVER160M4ie2	18,5	210	260	91,9	0,81	37,7	3,3	2,7	7,6	121,0	0,105	75,27	63,2	11,0	3,2	77,4	24,3
EUC180L4ie2	22	230	270	91,8	0,84	43,1	2,2	2,5	6,1	143,2	0,1376	69,13	75,1	11,2	3,6	89,9	26,5
7AVEC180L4ie2	22	240	260	91,6	0,82	44,4	3,4	2,9	7,1	144,0	0,12	69,62	72,2	12,0	3,5	87,7	27,0
7AVER180S4ie2	22	210	295	91,8	0,85	43,0	2,8	2,5	7,4	143,0	0,19	56	81,9	13,3	4,1	99,3	30,2
EUC180L4ie1	30	270	270	91,5	0,85	58,9	2,0	2,2	5,5	196,0	0,1602	88,5	88,2	12,5	4,0	104,6	30,3
7AVER180M4ie1	30	210	295	90,6	0,82	61,8	3,5	3,0	7,6	195,0	0,19	86,59	81,9	13,2	4,1	99,3	30,1
EUC180L4ie2	30	300	270	92,4	0,78	62,8	2,8	3,2	6,6	195,4	0,1752	77,87	96,7	13,3	4,2	114,2	36,6
7AVER180M4ie2	30	245	295	92,3	0,81	61,0	3,5	3,0	7,8	195,0	0,218	77,67	94,3	14,2	4,5	113,1	37,3
8AVER180M4ie2	30	210	313	92,6	0,87	56,3	3,0	2,4	7,5	194,3	0,2511	75,27	89,8	14,8	6,1	110,7	34,2
EUC315S2ie2	110	275	500	94,5	0,95	186,7	2,6	1,8	8,2	353,0	1,38	75,31	300,9	52,1	18,4	371,0	116,6
7AVER280S2ie2	110	250	490	94,8	0,93	189,0	3,0	2,1	7,5	354,0	0,914	81,34	276,2	56,4	12,9	345,5	113,6
EUC315MA2ie2	132	330	500	95	0,95	222,0	2,5	1,9	8,2	424,0	1,63	81,25	360,8	66,4	20,5	447,6	144,1
7AVER280M2ie2	132	276	490	95,5	0,92	228,0	3,1	2,2	7,7	425,0	1,0	81,48	299,3	59,8	13,5	372,6	133,8
EUC315MB2ie2	160	400	500	95	0,95	270,0	2,2	1,9	7,5	515,0	1,95	92,86	437,3	73,2	23,1	533,6	165,8
7AVER315S2ie2	160	340	530	95,1	0,93	274,0	2,6	2,1	7,4	513,0	1,54	74,66	431,3	83,0	19,9	534,3	172,9
EUC315LB2ie2	200	430	500	95,2	0,95	336,0	2,4	2,2	8,4	642,0	2,09	98,21	470,1	75,1	24,3	569,5	174,1
7AVER315M2ie2	200	400	530	95,6	0,94	338,0	2,8	2,6	8,4	641,0	1,92	84,62	507,4	86,0	21,9	615,3	189,7
EUC315S4ie2	110	300	500	95,1	0,89	198,0	2,2	2,3	7,5	707,0	2,25	80,31	317,0	63,8	21,0	401,8	135,5
7AVER280S4ie2	110	266	490	94,8	0,89	198,0	2,8	2,1	7,1	708,0	1,73	77,17	269,4	55,5	15,3	340,1	116,0
EUC315M4ie2	132	370	500	95,1	0,89	236,0	2,2	2,5	7,7	849,0	2,73	100,88	390,4	67,1	23,5	481,5	153,2
7AVER280M4ie2	132	366	490	95,1	0,90	234,0	2,5	2,1	6,7	850,0	2,31	75,99	370,6	66,4	18,7	455,8	147,8
EUC315LA4ie2	160	470	500	95,3	0,89	284,0	2,0	2,5	7,4	1030,0	3,42	80,55	496,6	71,0	27,1	594,7	177,6
7AVER315S4ie2	160	315	530	95,6	0,88	290,0	2,8	2,4	7,5	1027,0	2,73	70,75	355,4	89,9	25,6	470,9	176,8
EUC315LB4ie2	200	585	500	95,6	0,89	353,0	2,1	2,8	8,0	1286,0	4,2	80,47	618,1	88,9	31,2	738,3	221,1
7AVER315M4ie2	200	390	530	96	0,89	355,0	2,6	2,4	7,1	1285,0	3,33	79,07	440,0	104,3	29,1	573,4	210,3

Анализ габарита 315.

Очевидным является преимущество реализации мощностей 110, 132 в увязке ГОСТ 31606-2012 (вариант I) габарита 280, нежели увязки CENELEC габарита 315 мм. Типоразмеры EUC315 и 7AVER315 мощности $P_n=160$ кВт конкурентоспособны, для $P_n=200$ кВт наблюдается преимущество увязки СЭВ. Сказанное справедливо для $2p=2, 4$.

IV. О НЕДОБРОСОВЕСТНЫХ КОНКУРЕНТАХ

Вернемся к вопросу о предельно легких двигателях и экономичных моторах с классом энергоэффективности IE1. Выше было отмечено, что на уменьшенных диаметрах увязки CENELEC в случае реализации исполнений «повышенной мощности» в габарите 132 можно достичь эффективных соотношений «энергоэффективность – себестоимость – масса». Именно так поступают азиатские производители. Однако в ряде случаев из этой триады изымается первый показатель. При весьма низких массе и себестоимости наблюдается полный провал в энергоэффективности и недопустимое превышение температуры обмотки статора. Не называя из этических соображений фирмы–производители, сопоставим данные, декларируемые на табличках с показателями, полученными в результате испытаний в ПАО «НИПТИЭМ», табл. 2. В таблице 2 все двигатели имеют $P_n=11$ кВт. V_{act} – активный объем, $V_{act}=D_{as}^2 \cdot L_s$.

Таблица 2.

Расчетные и опытные показатели двигателей некоторых азиатских производителей

Типоразмер	Ист.	V_{act} , Дм ³	КПД, %	$\cos\varphi$	Θ_{cu} , °C	K_n	K_i	M , кг
1ASi132M2	Табл.	5,72	88,0	0,86	<105			49
1ASi132M2	Опыт		85,4	0,92	131	2,5	7,6	
1ASi132M4	Табл.		87,0	0,86	<105			71
1ASi132M4	Опыт	7,59	85,5	0,87	134	2,4	7,0	
EUC132M2ie1	Расч.	5,6	88	0,92	81	2,9	7,3	
EUC132MB4ie1	Расч.	8,4	87,6	0,84	81	3,2	6,6	

Итак, азиатские электродвигатели по весу соответствуют синтезированным двигателям на Евро–диаметрах, а по энергоэффективности им уступают. Причина этого – резкое уменьшение обмоточной меди. К сожалению, этот факт можно выявить только при разборке двигателя и испытаниях.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Асинхронные двигатели, выполненные на базе магнитопроводов EURO GROUP, демонстрируют лучшие показатели в «родной» Европейской увязке CENELEC и увязке ГОСТ 31606-2012 (вариант I) для класса энергоэффективности IE1.

Отдельные азиатские производители, реализуя в мощностях ГОСТ компактность и малую массу, соответствующую двигателям, выполненным на CENELEC–диаметрах, не обеспечивают ими же заявленную энергоэффективность.

Двигатели, выполненные на магнитопроводах [5] уступают по комплексным показателям двигателям с заготовительными диаметрами СЭВ для увязки ГОСТ

старших классов энергоэффективности, особенно для старших мощностей габарита.

Габарит 315 для мощностей CENELEC значительно выгоднее делать на диаметрах СЭВ габарита 280; для мощностей ГОСТ – на диаметрах СЭВ габарита 315, нежели использовать унифицированные листы магнитопроводов габарита 315мм из [5] для обеих увязок.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кравчик А.Э. Справочник. Асинхронные двигатели серии 4А / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
- [2] Радин В.И. Электрические машины. Асинхронные машины : учебник для вузов / В.И. Радин, Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович; под ред. И.П. Копылова. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
- [3] Попов В.И. Современные асинхронные электрические машины: новая российская серия RA / В. И. Попов, Т. А. Ахунов, Л. Н. Макаров. – М.: Знак, 1999. – 255 с.
- [4] <http://www.kienle-spiess.de/parts-for-electric-motors-and-generators.html>. Дата обращения 17.09.2017.
- [5] <http://euro-group.it/en/products/>. Дата обращения 17.09.2017.
- [6] Беспалов В.Я. Разработка и освоение производства энергоэффективных асинхронных двигателей массовых серий / В.Я. Беспалов, А.С. Кобелев, О.В.Кругликов, Л.Н. Макаров // Электротехника. 2015. № 4. С. 34–40.
- [7] SIEMENS AG. SIMOTICS GP, SD, XP, DP Low-Voltage Motors. Type series 1FP1, 1LE1, 1MB1 and 1PC1. Frame sizes 71 to 315. Power range 0.09 to 200 kW. Catalog D 81.1 · 2016.
- [8] Кобелев А.С. Интеллектуальная полная расчетная подсистема проектирования асинхронных машин / А.С. Кобелев // Изв. ВУЗов. Машиностроение. 2012. № 14. С. 24–33.
- [9] Кобелев А.С. Макаров Л.Н. Особенности разработки активных частей асинхронных электродвигателей класса энергоэффективности «premium» / Сборник научных трудов IV Международной научно–технической конференции EECES–2011. Екатеринбург. УрФУ. 2011. С. 32–38.